Klimatologische Prüfung der Beweiskraft geologischer Zeugen für tropische Vereisungen

Von

Bergrat Fritz Kerner v. Marilaun
k. M. Akad. Wiss.

(Vorgelegt in der Sitzung am 5. Dezember 1918)

In seiner kritischen Erörterung der Argumente für und wider eine Festlandsbrücke zwischen Afrika und Südamerika zur Triaszeit nimmt Diener wiederholt auch auf das Perm bezug und zeigt — betreffs der Trias sich für den Bestand eines südatlantischen Ozeans entscheidend — daß die Beweise für einen Zusammenhang der genannten Erdteile zur Dyaszeit auch nur sehr spärliche seien.[1] Sie beschränken sich, wie auch schon Arldt zugab, auf das gemeinsame Vorkommen der Reptiliengattung der Proganosauria und auch dieses ist als Beweismittel für eine Südatlantis nicht entscheidend da — wie Diener an einer späteren Stelle sagt — die Wanderung einer Landfauna aus einem Gebiete in ein anderes auch über einen Archipel erfolgen kann, »dessen einzelne Inseln zeitweilig miteinander in Verbindung treten, ohne daß zu irgend einer Zeit eine ununterbrochene Landbrücke zu bestehen braucht.«[2] Man darf es so als einen im Bereich der Möglichkeit gelegenen Fall betrachten, daß die Konglomerate Togo's und des Kongobeckens, deren Deutung als verfestigte Grundmoränen mit

---

[1] C. Diener, Die marinen Reiche der Triasperiode. Denkschr. d. Akad. Mathem.-naturw. Kl. 92. Bd., p. 130.

[2] L. c. p. 136.

jener der Dwykakonglomerate steht und fällt,[1] nicht fern vom Meere zum Absatz kamen. Dann tritt die Frage nach der Lebensfähigkeit von Gletschern innerhalb des Tropengürtels in Beziehung zu einem gegebenen palaeoklimatischen Problem: zur geographischen Erklärung der altpermischen Blocklager zwischen den Wendekreisen und wird so einer näheren Betrachtung wert.[2]

Bisher ist die genannte Frage — abgesehen von ihrer rein physikalischen Prüfung, die man Woeikof verdankt[3] — nur flüchtig berührt worden. Philippi glaubte wohl im Hinblick auf die Trockenheit der Luft über Küsten mit Auftriebwasser, daß eine größere Gletscherbildung innerhalb der Tropen ausgeschlossen sei.[4] Später gab er dann die Möglichkeit einer solchen Bildung unter den für sie günstigsten Umständen zu, hielt aber ein Vorstoßen von Gletscherzungen bis in Meeresnähe wegen der eiszerstörenden Wirkung warmer Regen für unmöglich.[5] Der klimatische Einfluß kühler Meeresströme auf benachbarte Küsten stellt sich aber nur in örtlicher Begrenzung als Hindernis für eine größere Gletscherbildung in den Tropen dar. Als Entwicklungsort für Firnlager kämen ja auch Küstengebirge innerhalb der Kalmenzone und bergige Ostküsten im Passatgürtel in Betracht. An solchen würden die klimatischen Verhältnisse für eine Eisentwicklung aber weniger ungünstig sein als an den von Philippi angeführten Küsten. In der Tropenzone ist die eine der zwei Grundbedingungen für eine Firnbildung: Reichtum an atmosphärischem Wasserdampf, sehr ausgiebig erfüllt und die Fragestellung nach der Möglichkeit einer Gebirgsvergletscherung dortselbst deckt sich dann mit der Frage, ob äquatorwärts vordringendes Meerwasser noch so kühl den Tropenring erreichen könnte,

[1] Philippi, Über einige palaeoklimatische Probleme. Neues Jahrbuch für Min., Geol. und Pal. 1910, p. 127.

[2] Bei der Lage inmitten eines riesigen Tropenkontinentes ist dagegen für das Permoglazial Westafrikas eine geographische Erklärung ausgeschlossen.

[3] A. Woeikof, Gletscher und Eiszeiten. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin. 1881, p. 17.

[4] E. Philippi, Über die permische Eiszeit. Zentralbl. f. Min., Geol. und Pal. 1908, p. 359.

[5] E. Philippi, l. c. 1910, p. 126.

daß dort die höchste jetzt von Gletschereis eben noch ertragene Luftwärme nicht überschritten würde.

Damit es zum Zusammentritte möglichst kühler mit bei hoher Temperatur dampfgesättigter Luft käme, wäre das rechtwinklige Auftreffen einer starken, dem Äquator zustrebenden Strömung auf eine kräftige Passattrift nötig. Dieser Fall schiene auf der Südhalbkugel vor der Nordwestecke eines über den Rand der Tropenzone reichenden Festlandes gegeben. Ein örtlich weiteres Vordringen der Isothermen über die Scheitel ihrer jetzigen gegen den Gleicher vorgewölbten Bögen könnte teils durch ein Absinken der Oberflächentemperatur der Westwindtriften, teils durch eine Verzögerung des Temperaturanstieges in den äquatorwärts gerichteten Strömen bei der Querung der Roßbreiten und des Passatgürtels bedingt sein.

Als Ursache der Abkühlung des Meerwassers im Westwindgürtel käme zunächst eine starke Landentwicklung in den niedrigen Breiten in betracht, sei es eine solche in den Tropen, durch die weitausgedehnte als Wärmequellen für die höheren Breiten wirkende Meeresflächen verschwänden, sei es ein subtropischer Festlandsring, der den Zustrom warmen Wassers aus den Tropen hintanhielte. Im südlichen großen Ozean erscheint in den mittleren Breiten der Einfluß der arktischen Triften durch den äquatorialer Strömungen ganz ausgeglichen, so daß Zenker[1] die dort herrschenden Lufttemperaturen zur Ableitung der Normaltemperaturen im reinen Seeklima benutzen konnte. Durch den Bestand der von Arldt[2] für das Cenoman vermuteten Landbrücke zwischen Australien und Südamerika, als deren letzte Reste die zahlreichen Inseln und Inselgruppen der Südsee anzusehen wären, hätte die südpazifische Westwindtrift an Wärme verloren. Eine ähnliche thermische Wirkung würde das von Südamerika über Afrika nach Australien gespannte riesige Gondwanaland auf die atlantisch-indische Trift der Westwinde ausgeübt haben und

[1] Zenker, Die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche. Berlin 1888, p. 72.

[2] Arldt, Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Leipzig 1907, p. 588, Karte 19 und Palaeogeographie Bd. I, Leipzig 1917.

Koken[1] war im Rechte, wenn er Randgebirge längs der Südküste dieses Landes für vergletscherungsfähig hielt.

Einen zweiten Anlaß zur Abkühlung des Meerwassers in den mittleren Südbreiten böten besondere Landgestaltungen in der subantarktischen Zone dar. Durch ein weiteres Vorspringen Amerikas gegen Süden wäre der Kap-Hornstrom gezwungen, noch mehr polwärts auszubiegen und zöge dann bei seinem Wiederabstiege in mittlere Breiten in verstärktem Maße eiskaltes antarktisches Wasser an sich. Zu besonderer Kraft schwölle er wohl dann an, wenn er sich infolge großer Annäherung Südamerikas an die Antarktis durch eine Enge hindurchdrängen müßte. Durch schmale in seiner Richtung gestreckte Landmassen könnte er scharfe seitliche Grenzen erhalten, was seiner Stärkeentfaltung ebenfalls günstig wäre.

Ein dritter, die Erkaltung ozeanischer Gebiete in den mittleren Südbreiten fördernder Umstand wäre der Bestand von Hochgebirgen auf subantarktischen Inseln. Er könnte zur Entwicklung großer bis ins Meer vorstoßender Gletscher führen und so auch den im besagten Strome triftenden Eisbergen antarktischer Herkunft zahlreiche neue hinzugesellen. »Mehr vergletscherte Länder in höheren südlichen Breiten, also eine größere Stärke der kalten Strömungen von dort mit viel mehr Eisbergen beladen als jetzt« erachtete Woeikof als eine der wichtigsten Bedingungen für eine Vergletscherung Brasiliens. Als zweite Voraussetzung einer solchen sah er die Ablenkung der brasilianischen Strömung von der Ostküste Brasiliens an. Fernhaltung warmer den Tropen entstammender Wässer vom Eintritt in die südatlantische Westtrift wäre auch eines der Mittel zu möglichster Herabdrückung der Temperaturen an der Westküste Südafrikas. Am vollkommensten würde sie — beim Bestand eines tropischen Ozeans — dann erreicht, wenn der Südäquatorialstrom bei seinem Vordringen gegen Westen längs seiner Südgrenze Land, in seinem Stromstriche aber gar kein Hemmnis vorfände und über ein untergetauchtes

[1] Koken, Indisches Perm und die permische Eiszeit. Neues Jahrb. f. Min., Geol. und Pal. Festband, p. 540.

Amazonien hinwegsetzen könnte. Randliche Stromfäden der Südostpassattrift würden zwar auch bei der Einengung des Südatlantik auf ein schmales in Nordsüdrichtung gestrecktes Meer in dieses einbiegen und seinem Westsaume folgend sich dann allmählich mit dem längs seiner Ostküste nordwärts fließenden Strome vermischen. Daß aber in meridional verlaufenden Meeresräumen das für die weiten Ozeanbecken geltende Gleichgewicht zwischen Abstrom gegen den Pol hin und Rückstrom zum Gleicher nicht gewahrt bleiben muß, wird durch das Stromverhältnis in der Davisstraße bezeugt. Gleichwie dort dem starken Labradorstrome nur schwache Ausläufer des Westgrönlandstromes begegnen, könnte es sein, daß in einem sehr verschmälerten südatlantischen Becken ein von Süden kommender mächtiger Kaltstrom in schwachen von der Südostpassattrift abgespaltenen Stromfäden eine nur sehr unzulängliche Kompensation fände.

In diesem Falle würde jenem Strome auch nur ein unbedeutender Kälteverlust erwachsen. Als letztes Glied der hier aufgezeigten Kette von Erscheinungen, die zu größtmöglicher Erniedrigung der Meeres- und Lufttemperaturen im Westen der Südspitze Afrikas beitrügen, wäre auch das Abseitsbleiben des Agulhasstromes zu erwähnen, das die Folge einer anderen Gestaltung des südafrikanischen Festlandes sein könnte.

Unter den Anlässen dafür, daß mit tiefer Temperatur den Abstieg von den Mittelbreiten zum Äquator antretendes Triftwasser sich auf diesem Wege auch nur schwach erwärmen würde, ist zunächst der Umstand anzuführen, daß die über kaltem Küstenwasser im Winter und Frühling lagernde Nebeldecke desto dichter und für Sonnenstrahlen undurchdringlicher würde, je mehr die Temperatur dieses Wassers sänke.

Einen zweiten Anlaß zu bedeutender Verlangsamung der Temperaturzunahme böte der Umstand, daß die in einem kalten Strome triftenden Eisberge umsomehr abschmelzen würden, je mehr sich im Sommer und Herbste die Insolation zur Geltung brächte. Es käme so zu großzügiger Entfaltung des Phänomens der Steigerung eines Zustandes durch die Verstärkung einer ihn sonst abschwächenden Ursache, wie es in kleinster Entwicklung sichtbar wird, wenn sich die

Temperatur eines Gletscherbaches umso langsamer erhebt, je kräftiger die Hochgebirgssonne auf das nahe Eisfeld strahlt. Ein Absinken der Schmelzwässer fände auch innerhalb jener Grenzen, zwischen denen die Dichteunterschiede infolge von thermischer und stofflicher Verschiedenheit unausgeglichen wären, nicht statt, da ja die Eisberge in einer Auftriebsregion schwämmen.

Eine dritte Ursache verzögerter Temperaturzunahme wäre vermehrter Zustrom kalten Tiefenwassers. Ein solcher könnte für den östlichen Saum des Südatlantik in Erwägung kommen, insoferne bei der schon oben gedachten Überflutung der tropischen Teile Südamerikas der Auftrieb an der Westküste Südafrikas den in sehr reichlichem Maße nötigen Ersatz für das durch eine machtvolle, sich über die Hälfte des Erdumfanges spannende Südäquatorialströmung entführte Wasser bilden müßte. Ganz ausgeschlossen wäre es wohl nicht, daß auch gegenüber jenem Grade der Entfaltung, den das Phänomen des kalten Küstenwassers jetzt an der Küste Nordperus erreicht, noch eine Steigerung einträte, wenn etwa die pazifische Südostpassattrift, die schon jetzt im offenen Ozean streckenweise und zeitweise zu großer Kraft anschwillt, durch schmale in ihrer Richtung gestreckte Inselzüge — durch die die Stetigkeit und Stärke des Passats noch keine Einbuße erlitte — eine teilweise Führung bekäme und wenn Querschnittsveränderungen des Triftweges stattfänden.

Eine starke Temperaturverminderung des Perustromes hätte zur Folge, daß in dem der Südküste von Mittelamerika vorliegenden Gebiete die Grenze der Sommerregen höher emporrückte und weiter nordwärts zurückwiche. Die Galopagos-Inseln kämen dann noch ganz unter die Wolkenzone zu liegen und an der Festlandsküste begännen die starken Regen etwa erst im Golfe von Ancon. Näher zum Wendekreis träfe man ein kühles trockenes Klima, zu einer Gletscherbildung in küstennahen Gebirgen käme es aber nicht. Ganz anders würden sich aber die Dinge gestalten, wenn der äquatorwärts vom 15. oder 20. Breitengrad gelegene Teil des Kontinents meerbedeckt wäre. Dann könnte es zu keiner allmählich gegen Nord abklingenden Auskühlung der ganzen

östlichen Ecke des tropischen Pazifik kommen, da stets hohe Wärme und Feuchtigkeit von Ost neu zugeführt würde. Kalte und dunstgesättigte warme Luft träfen dann am Zusammenflusse des Perustromes mit der Südäquatorialströmung fortwährend unvermittelt aufeinander und es träten dann beim Aufragen von Inselgebirgen für die Gletscherbildung günstige Verhältnisse ein: reichlicher Niederschlag, von mäßiger Höhe an ein Fallen desselben als Schnee, starke Nebelbildung an den Küsten und fast ständige Umwölkung der Berghöhen. In der kühleren Jahreshälfte würden dann bei größerer Kraft und tieferer Temperatur des von Süden kommenden Stromes und größerer Stärke der Passattrift beim Emporsteigen des Passats an hohen Inselketten so reichliche Schneemengen fallen, daß sie in dem wenig wärmeren Sommer — durch dichte Wolkenhüllen vor der hoch stehenden Sonne geschützt — nicht ganz zum Abschmelzen kämen. Damit wären die Bedingungen für eine Gletscherbildung erfüllt.

Mit vorstehender Betrachtung dürfte nachgeholt sein, was an einer Stelle, wo ich ganz im allgemeinen von der Möglichkeit einer Vergletscherung in den Tropen sprach,[1] von W. S. Eckardt vermißt wurde,[2] ein Hinweis darauf, wie man sich die dort als nur auf getrennten Wegen möglich bezeichnete Zufuhr von Feuchtigkeit und Kälte vorstellen könnte. Es gilt nun das Gesagte noch durch Rechnungen auf seine Einwandfreiheit näher zu prüfen. Zu diesem Zwecke ist zunächst ein ziffermäßiger Überblick der jetzt bestehenden einschlägigen Verhältnisse zu gewinnen.

Als Mitteltemperaturen der extremen Monate (S und W) und des Jahres (J) an den Zungenenden der bei größtem Polabstande jetzt am tiefsten hinabsteigenden Eisströme ergeben sich für die zwei den Gürtel der Luftwirbel kreuzenden südhemisphärischen Westküsten folgende Werte:

---

[1] Das paläoklimatische Problem. Mitteil. d. Geolog. Gesellsch. in Wien II. 1911. p. 284.

[2] W. R. Eckardt, Über die permocarbone Eiszeit und ihre Sonderstellung im geolog. Klimaproblem. »Die Naturwissenschaften« V. 1917, Juli, Heft 29, p. 485.

A = Foxgletscher auf der Südinsel von Neuseeland.
B = Gletscher in der Lagune von S. Raphael in Westpatagonien.

	φ	h	S	W	J
A	$43^1/_2$	200	14·0	6·0	10·0
B	$46^1/_2$	0	13·0	6·5	9·0

Die niedrigsten jetzt im südlichen Tropengürtel auftretenden Luftwärmemittel sind:

φ	Peru Strom			Benguela Strom		
	S	W	J	S	W	J
15°	22·0	17·5	19·0	21·5	17·5	19·0
20°	20·0	16·0	18·0	20·5	16·0	17·0

Auf Grund vorstehender Zahlenwerte läßt sich der vorhin ganz unbestimmt gestellten Frage nach der Möglichkeit einer tropischen Vergletscherung folgende schärfere Fassung geben: Könnten — bei Voraussetzung einer gleich der heutigen tief vergletscherten Antarktis — nur infolge veränderter Land- und Meerverteilung in der subpolaren und subtropischen Zone die Mittelwerte der Luftwärme innerhalb des südlichen Tropengürtels örtlich um neun Grade sinken, beziehungsweise wäre unter obigen Bedingungen ein Hinabsteigen von Eiszungen bis in Meeresnähe möglich? In anderer Form würde die Frage lauten: Um wieviel Grade könnten die besagten Luftwärmemittel nur infolge von Umformungen des Erdbildes unter ihre tiefsten jetzigen Werte hinabgehen, beziehungsweise bis zu welcher Tiefenlage wäre ein Gletschervorstoß möglich?

Verminderung der Temperatur am 45. Parallel.

Eine geographische Analysis der ozeanischen Temperaturen in den mittleren Breiten muß sich, wenn sie alle Weltmeere einbezieht, wegen der Eigenart der beiden nordhemisphärischen Becken kompliziert gestalten; schränkt man sie auf die Südhalbkugel ein, so lassen sich einfachere Relationen

entwickeln. Die Abkühlung, welche die Luft über der südpazifischen Westwindtrift durch eine Landbedeckung der niedrigen Breiten erführe, läßt sich in erster Annäherung durch einen Ausdruck von der Form

$$t_\varphi = T_\varphi + \alpha W - bK$$

abschätzen, in welchem T_φ die Normaltemperatur im reinen Seeklima ausdrückt, W und K die Verhältniszahlen des Areals der SO-Passattrift und der subantarktischen Triften zu den Meeresräumen, innerhalb deren sie sich verteilen, sind, und a und b zwei konstante Faktoren bedeuten. Die Schätzung ist am besten für das Jahresmittel der Luftwärme vozunehmen, da dann die Schwierigkeit entfällt, die jährlichen Breitenänderungen der Äquatorialströme in zutreffender Weise zu berücksichtigen. Suchte man für die Luftwärme in der Mitte einer extremen Jahreszeit den vorgenannten Ausdruck abzuleiten, so wäre es unstatthaft, die jener Jahreszeit zukommenden Triftgrenzen einzusetzen, zugleich aber auch nicht passend, die im entgegengesetzten Jahresviertel geltenden Grenzen zu nehmen.

Als mittlere Lufttemperaturen über dem 45. südlichen Parallel erhält man aus den Karten der Jahresisothermen und im Mittel aus den Isothermenkarten der vier Monate Februar, Mai, August und November in den Atlanten der Deutschen Seewarte:

Süd Atlantik.	Süd Indik.	Süd Pazifik.
9·22	8·15	10·15
9·06	8·41	10·71

Angesichts der geringen Unterschiede zwischen den gesuchten Größen erscheint die in den Differenzen ihrer zwei Bestimmungen zum Ausdruck kommende Werteunsicherheit ziemlich groß.

Als das Gebiet, innerhalb dessen sich die südtropischen und subantarktischen Triften verteilen, kommt für die abzuleitende Gleichung zunächst der Gürtel zwischen 40 und 50° in Betracht. Für das Größenverhältnis der von den warmen und kalten Triften im Jahresdurchschnitt bedeckten Flächen zu diesem Gürtel erhält man nach den Zonenausmessungen

von Karstens[1] und Krümmel[2] folgende Werte (Karstens = α, Krümmel = β):

Süd Atlantik		Süd Indik		Süd Pazifik	
α	β	α	β	α	β
1·209	1·128	1·256	1·160	2·198	2·289
—	1·473	1·360	—	1·495	1·654

Für die Arealbestimmung der Äquatorialströme waren hier Krümmels Angaben über die Stromgrenzen[3] leitend. Die Relativzahl des Areals der erkaltend wirkenden Fläche im südindischen Ozean erheischt eine Erhöhung, da hier die Triften wegen der Stromschlinge in der Bouvetregion kälteres Wasser als in anderen Teilen der Subantarktis führen. Nach den Atlanten der Deutschen Seewarte ist der Gürtel zwischen 50 und 60° S im Südindik von nach NO bis NNO gerichteten Stromfäden durchzogen, wogegen er in der Südsee von W—O strömendem Wasser bedeckt wird. Im östlichsten südatlantischen Meere wird aber der stark abkühlende Einfluß des zur Rechten des Cap Horn-Stromes aus hohen Breiten aspirierten Wassers durch den Agulhasstrom teilweise wettgemacht.

Setzt man für t_φ die arithmetischen Mittel der oben angeführten Temperaturen und für W und K die aus den Zonenwerten Karstens sich ergebenden Verhältniszahlen ein, die von K für den Indik mit $1^1/_2$fachem Gewichte so kommt man zu der Gleichung:

$$t_{\varphi_{45}} = 10\cdot364 + 1\cdot347\,W - 1\cdot936\,K.$$

[1] K. Karstens, Eine neue Berechnung der mittleren Tiefen der Ozeane. Preisschrift Kiel und Leipzig 1894.

[2] O. Krümmel, Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume. Leipzig 1879.

[3] O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, Bd. II. Die Bewegungsformen des Meeres. Stuttgart 1911.

Diese Relation stimmt gut zur Annahme Zenker's, daß die Temperaturen im Südpazifik die des normalen Seeklimas seien; nur läßt sie, während Zenker dort eine polare Abkühlung leugnete,[1] jenen Normalzustand als die Folge einer gegenseitigen Aufhebung abkühlender und erwärmender Einflüsse erscheinen. Denkt man sich nach Einsetzung der für die Südsee geltenden Werte von W und K das positive variable Glied der vorigen Gleichung weg, so erhält man 7·5° als Temperatur über der Westwindtrift am 45. Parallel für den Fall, daß eine südpazifische Landbrücke jeden Zutritt warmen Wassers aus den niedrigen Breiten hemmte.

Man kann dann als Gebiet, in welchem sich die äquatorialen und subpolaren Triften verteilen, auch die gesamten auswärts von ihnen liegenden Meeresflächen betrachten. Dann empfiehlt es sich jedoch, die stromlosen Areale der Subtropen als von einer seitlichen Wärme- und Kältezufuhr unberührte Meeresteile auszuscheiden. Diese stromlosen Areale machen im südatlantischen Ozean 20, im südindischen 30 und in der Südsee 37% der Zone zwischen 20 und 40° S aus. Man erhält dann folgende Verhältniszahlen des Areals der warmen und kalten Triften zu den Wasserflächen, innerhalb deren ihre Verteilung erfolgt:

Süd Antlantik		Süd Indik		Süd Pazifik	
α	β	α	β	α	β
0·300	0·286	0·392	0·374	0·406	0·405
0·392	0·420	0·573	0·618	0·382	0·413

Setzt man die arithmetischen Mittel dieser Werte — die von K für den südindischen Ozean sind schon auf ihr 1½-faches erhöht — in den obigen Ausdruck ein, so erhält man die Formel:

$$t\varphi_{45} = 9 \cdot 897 + 10 \cdot 736\, W - 9 \cdot 611\, K.$$

[1] L. c.

Diese Gleichung ergibt als Normalwärme im Seeklima am 45. Parallel einen um 0·5° kleineren Wert als die erste und als Temperatur über einer äquatorwärts durch Land abgeschlossenen Westtrift 6·1°.

Das auf dem 45. Parallelkreis triftende Wasser tritt noch in den Perustrom ein, von etwa 50° *S* an biegt es nach Süden ab, um das Cap Horn zu umfließen, wogegen die braven Westwinde quer über die Südspitze Amerikas hinstreichen. Eine Abkühlung der Trift am 45. Parallel würde aber doch auch auf das in ihrer südlichen Nachbarschaft strömende Wasser rückwirken und dazu führen, daß der Cap Horn-Strom mit verminderter Wärme in den Atlantik einböge. Noch mehr griffe wohl eine Lufterkaltung in den mittleren Südbreiten bei der häufigen Wirbelbildung auf den subantarktischen Gürtel über.

Nimmt man angesichts des Verhaltens zonaler Temperaturverteilungen an, daß der vorhin erhaltene Wärmeabfall proportional zum Quadrate des Cosinus der geographischen Breite gegen den Südpol zu ausklänge, so würde er im Hauptstromstriche des Cap Horn-Stromes ungefähr die Hälfte von jenem am 45. Parallel betragen. Die um und über die Südspitze Amerikas wehende Luft träte dann nach der ersten Formel um 1·5 nach der zweiten um 2·2 kälter als jetzt in den atlantischen Ozean ein. Diese Werte wären zugleich als Durchschnittswerte der Abkühlung des Luftzustromes zu den mittleren südatlantischen Breiten zu nehmen und zeigten den diesen aus der gedachten Umformung des Südseegebietes erwachsenden Wärmeverlust an.

Die Abkühlung, die diese Breiten durch die früher angedeutete Formänderung des südatlantischen Beckens erführen, läßt mittels der oben erhaltenen Formeln eine ziffermäßige Schätzung zu. Die thermische Wirkung einer teilweisen Emersion der südatlantischen Subtropen kann man durch Verkleinerung des variablen Faktors im positiven zweiten Formelgliede in Rechnung ziehen. Ganz wegzulassen ist dieses Glied aber nicht, da das Absteigen einer kräftigen kalten Strömung auf der Ostseite des Südatlantik wenigstens einen schwachen warmen Gegenstrom heranzöge, wie jetzt der

Labradorstrom den Westgrönlandstrom aspiriert. Es wird so wenigstens die Hälfte der dem Südatlantik jetzt zukommenden Wärmezufuhr anzusetzen sein.

Um den Einfluß auszudrücken, den der Bestand von N—S streichenden Ländern ostwärts von den Falklandsinseln auf die Temperatur der mittleren südatlantischen Breiten hätte, muß man dagegen den Wert des negativen Gliedes der Formel erhöhen. Solche Länder würden bewirken, daß der Cap-Hornstrom mehr gegen *N* abböge und so das rechts von ihm mitgerissene, von der antarktischen Eiskante kommende Wasser, das jetzt erst südlich von Afrika in die mittleren Breiten gelangt, schon weiter westwärts diese Breiten erreichte. Es käme so jene Erhöhung, mit welcher der erkaltende Einfluß in die Formel für den südindischen Ozean eintrat, auch für die Osthälfte des südatlantischen Beckens in betracht. Man erhielte dann nach der ersten Formel eine Temperaturerniedrigung um 1·3°, nach der zweiten eine solche um 2·5° gegenüber der Gegenwart.

Um auch für die Abkühlung, welche dem in der Fortsetzung des Cap Hornstromes triftenden Wasser aus einer reichlichen Zufuhr von Eisbergen erwüchse, die von ins Meer tauchenden Gletschern längs einer jenen Strom zwischen Süd-Shetland und Süd-Georgien besäumenden Küste kämen, eine ziffermäßige Schätzung zu erzielen, ließ sich folgendes tun. Es konnten für den mittleren Sommermonat, auf dessen Karten der Oberflächentempeiatur des Meerwassers in den Seewarte-Atlanten die Isothermen bis in das Beringmeer und in die Davisstraße hinein gezeichnet sind, für den in diesen Meeresbecken gegen Süd stattfindenden Wärmeanstieg Formeln abgeleitet werden, die eine mäßige rechnerische Extrapolation zuließen. Eine solche führte dann zur Kenntnis jenes Wärmeunterschiedes, welcher zwischen einem aus eisfreiem und einem aus gletscherumgürtetem Gebiete bis in mittlere Breiten absteigenden Polarstrome herrschen würde. Aus den für die Breiten 60—52° gemessenen Werten ergab sich der Ausdruck

$$t_d = 7 \cdot 83 + 0 \cdot 016 d + 0 \cdot 099 d^2,$$

in welchem $d = {}^1/_2\,(62-\varphi)$, für die Strömung im Beringmeere und mit $d = {}^1/_2\,(64-\varphi)$ der Ausdruck

$$t_d = 3 \cdot 20 + 0 \cdot 49d + 0 \cdot 06d^2$$

für den Labradorstrom. Der erstere Ausdruck gibt die beobachteten Werte mit einem mittleren Fehler von 0·13, der letztere mit einem solchen von 0·22 wieder. Für $\varphi = 45°$ erhält man die Werte 15·2 und 13·3. Leitet man analoge Formeln für den kältesten Stromstrich ab, so werden die Werte 13·6 und 11·5 gewonnen. An sich können diese als hohe nordhemisphärische Temperaturen hier kein Interesse erregen; für ihre Differenzen erscheint aber eine Gültigkeitsübertragung auf die Südhalbkugel wohl statthaft und man wird so bei der in vielen Belangen bestehenden Ähnlichkeit der mittleren Wärmezustände auf und über den Ozeanen nicht fehlgehen, wenn man die Abkühlung, die sich aus dem Bestande vielen vergletscherten Landes im subantarktischen Gürtel für die Luftwärme im Seeklima mittlerer Breiten ergäbe, im Jahresmittel auf 1·5 schätzt.

Das Gebiet südwestlich vom Kaplande hat eine etwas tiefere Temperatur als der ganze südatlantische Ozean in gleicher Breite. Am 45. Parallel beträgt dieser Wärmerückstand im Jahresmittel zwischen 10 *W.* und 10 *E.* 0·77, zwischen 20 *W.* und dem Nullmeridian 0·93. Die Temperatur in der Entwicklungsgegend des Benguelastromes stellt sich als die Resultante der hier schon zur Geltung kommenden Erkaltung durch das von der antarktischen Eiskante herangezogene Wasser und des erwärmenden Einflusses des Agulhasstromes und des benachbarten Festlandes dar. Die negative Abweichung dieser Temperatur bliebe auch für den hier erwogenen Fall in Geltung, weil — obzwar der erkaltende Einfluß schon Berücksichtigung fand, doch auch der erwärmende Einfluß hinwegfiele; es wäre ja eine Landgestaltung mit voller Absperrung eines warmen Oststromes zu erwägen und es kämen für das Kapland klimatische Zustände in Betracht, die einen erwärmenden Einfluß desselben auf seine Umgebung ausschlössen.

Man wird so den gemachten Temperaturabstrichen noch einen solchen von 0·8 anfügen können und erhält dann im

einen Falle 1·5+1·3+1·5+0·8 = 5·1, im anderen 2·2+ +2·5+1·5+0·8 = 7·0 als vereinte Wirkung aller in Betracht gezogenen Erkaltungsmöglichkeiten der Luft in der Wurzelregion des längs der Ostseite eines atlantischen Südmeeres absteigenden Stromes. Zieht man diese Werte von der Mitteltemperatur des südatlantischen Ozeans am 45. Parallel, die zu 9·1 gefunden wurde, ab, so erhält man 4·0 und 2·1, im Durchschnitt also 3·0 als den Betrag, bis zu dem bei stärkster negativer Wärmeanomalie im subpolaren südatlantischen Gebiete die mittlere Lufttemperatur am Ausgangspunkte einer für die Kältezufuhr nach den Tropen in Betracht kommenden Meeresströmung herabginge.

Bei so tiefer Temperatur in mittleren Breiten fände eine sehr verlangsamte Wärmeabnahme gegen Süden statt, wenn das Meer bis gegen den Polarkreis hin offen bliebe. Man könnte so vermuten, daß sich die antarktische Eiskante gegen Nord vorschöbe; viel würde dies aber nicht ausmachen, da sich bei der Heftigkeit der Stürme im subantarktischen Gürtel große zusammenhängende Eisdecken nicht zu bilden vermöchten.

Verzögerung des Temperaturanstieges vom 45. zum 20. Parallel.

Von den in tropenwärts vordringenden Meeresströmen den Wärmezuwachs schwächenden Vorgängen sei hier zuerst der Wasserauftrieb untersucht. Ein Maß für den Einfluß, den dieser auf die Temperaturgestaltung an der Küste nimmt, gewinnt man aus der Relation:

$$t_k = t_g(1-m)+t_s m$$

in welcher t_k die Oberflächentemperatur des Meeres an der Küste, t_g die Temperatur am Meeresgrunde und t_s die Oberflächentemperatur im Hauptstromstriche bedeutet. Dieser Einfluß ist jenem als äquivalent zu setzen, den ein mit Annäherung an die Oberfläche in zunehmender Menge und in abnehmender Kühle aufsteigendes Wasser ausübt.

Aus dem Atlas der Deutschen Seewarte erhält man für den Benguelastrom im Mittel aus Februar, Mai, August und November für t_k und t_s die folgenden Werte: (λ bezeichnet die geographische Länge, in welcher die Stromachse den betreffenden Breitenkreis quert.)

φ	10	15	20	25	30	35
t_k	23·5	20·7	15·9	13·9	14·1	17·4
t_s	23·5	21·1	19·5	18·8	17·8	16·1
λ	7½ W	0	5 E	7½	10	10

Setzt man als Bodentemperatur vor der Küste für 30° 1·1, für 25° 1·5 und für 20° 2·2 ein,[1] so ergeben sich für m die Werte 0·778, 0·711 und 792. Am 25. Parallel gestaltet sich demnach die Temperatur des Küstenwassers so, wie wenn sich drei Teile Meergrundwasser mit sieben Teilen Stromwasser vermischten. Dieser Mischungsanteil des Grundwassers ist der höchste, den man für einen Parallel im Jahresdurchschnitt findet. An der Westküste Südamerikas erreicht m in 15° S den Wert 0·755. Tiefer stellen sich einzelne Monatswerte von m, so erhält man für die letztgenannte Stelle für Mai und August die Werte 0·706 und 0·704 entsprechend einem Wärmerückstande des Küstenwassers gegenüber dem Stromwasser von 6·3 und 5·5. An der Westküste Südafrikas sinkt der Wert von m am 20. Parallel im Mai und August auf 0·697 und 0·649 bei einer Temperaturdifferenz von 5·7 beziehungsweise 5·4 zwischen Strom- und Küstenwasser, am 25. Parallel im Februar und Mai auf 0·636 und 0·622 bei einem Betrage der eben genannten Differenz von 7·1 und 6·8. An der Westküste Südamerikas nimmt der Auftriebskoeffizient im Jahresdurchschnitt im äußeren Tropengürtel rasch ab, um dann bis in die Mittelbreiten fast konstant zu bleiben, wie folgende Zusammenstellung zeigt. Es spiegelt sich da die Erscheinung wieder, daß die Strömung bis über den Wendekreis hinaus der Küste folgt und dann erst eine rein ablandige wird.

[1] O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie Bd. I, p. 432.

φ	15	20	25	30	35	40
t_k	16·9	17·5	16·9	15·2	14·1	12·8
t_s	21·8	19·4	18·2	16·5	15·0	13·4
λ	95 W	85	80	77·5	77·5	80
m	0·755	0·892	0·921	0·914	0·934	0·951

(t_g von 15° – 25° = 1·8, 30° 35° = 1·4, bei 40° = 1·1)

Eine Steigerung des abkühlenden Einflusses des Auftriebwassers könnte aus einem Absinken der Bodentemperaturen und aus einer Verstärkung des Wasserauftriebes erwachsen. Nimmt man eine Gestaltung des Meeresgrundes an, bei der subantarktische Bodentemperaturen bis in niedrige Breiten vordrängen, so ergibt sich bei $t_g = 0·0$ für den 20. Parallel $t_k = 15·4$. Dies wäre nur eine Verminderung des Wärmezuwachses im kalten Meeresstrome um 0·5. Setzt man den für den 25. Parallel gefundenen Auftriebskoeffizienten auch für den 20. Parallelkreis ein, so wird $t_k = 14·5$. Schlägt man die Wirkung einer tieferen Bodentemperatur hinzu, wird $t_k = 13·9$ und die Verzögerung des Wärmeanstieges = 2·0. Die Annahme eines polwärts nicht durch Bodenschwellen abgeschnürten südatlantischen Meeresgrundes ist für den betrachteten Vorzeitfall wohl statthaft. Wieviel die für die früher erwogene Gestaltung der atlantischen Südtropen als möglich aufgezeigte Steigerung des Wasserauftriebes betragen könnte, bleibt ungewiß. Man kann, sich enge an gegebene Werte lehnend, wohl den oben für den 25. Parallel gefundenen Wert des Auftriebskoeffizienten als mögliches Jahresmittel am 20. Parallel annehmen.

Was die Eisbergschmelze anbelangt, so läßt sich ihre thermische Wirkung in den hier in Betracht kommenden Breiten ungefähr auf Grund der einfachen Überlegung schätzen, daß, wenn die Eisberge den zweihundertsten Teil der Meeresfläche einnähmen und ihre Gesamthöhe dem fünften Teil der Seitenlänge ihrer bei Kastenform als quadratisch gedachten Grundfläche gleichkäme, durch ihr Schmelzen das Meer bei 10° Oberflächentemperatur bis auf 11 M. Tiefe um 0·9 abgekühlt würde. Die so beschaffene Wärmelagerung könnte man als einer mesothermen Schichtung äquivalent ansehen,

bei der die Meeresoberfläche noch mehr erkaltete, die Abkühlung sich aber weiter und allmählich in die Tiefe fortpflanzte. Hoher Seegang träte der dem Dichteunterschiede entsprechenden Ansammlung des Schmelzwassers in den obersten Schichten entgegen, der Wasserauftrieb an der Küste würde ihr förderlich sein.

Die äquatoriale Grenze der Eisberge liegt jetzt im nord- und südatlantischen Weltmeere bei mittleren Wasser- und Lufttemperaturen von 15° und noch darüber. So ist nicht anzunehmen, daß im hier erwogenen Falle diese Berge schon am Wege zu den Tropen ganz zerschmölzen, so daß die Thermik des Oberflächenwassers auf dem letzten Teile dieses Weges nur mehr von der Radiation und Insolation abhinge. Man darf vielmehr ansetzen, daß in jenem Falle Eisberge bis zum Wendekreise als Kältebringer erschienen.

Die Treibeisgrenze steigt im südatlantischen Ozean zwischen $\lambda = 15°$ und 20° W v. G. bis auf $\varphi = 40° 20'$ und 40° 15′ herab. Die hier und auf dem nächsten fünften Meridian sich einstellenden Jahresmittel der Luft (t)- und Wasserwärme (t_w) sind:

φ	λ	t	t_w
40° 45'	25° W	12·1	13·2
40° 15'	20° W	12·1	13·2
40° 20'	15° W	11·9	12·6

Eine Zunahme der Nebelbildung mit Verminderung der Oberflächentemperatur des Meeres läßt sich zwar als von der Jahreszeit abhängiges Phänomen nicht ziffermäßig dartun, da in dem durch Messungen genau erschlossenen Gebiete, in der Neufundlandregion der Winter die klarste Zeit ist, wohl aber für einzelne Abschnitte des Jahres als räumliches Phänomen aufzeigen. Im folgenden sind für einige Punkte jener Region für Mai und August die Oberflächentemperatur des Meeres und die Nebelhäufigkeit in dem umschließenden Gradfelde von 5° Breite und 10° Länge angeführt. Die letztere Größe wurde durch mit abnehmendem Gewichte vorgenommene Mittelbildung aus den für die Mittelbreite und die beiderseits folgenden Breiten erhaltenen Werten bestimmt.

$\varphi = 45$	Mai		August	
λ	t_w	N	t_w	N
55 W	4·9	42·2	16·9	43·3
50 W	6·7	34·7	15·9	55·7
45 W	10·3	20·7	17·5	44·7

Diese Werte bieten wohl keine Handhabe zur Erkenntnis der Verzögerung, welche die Wärmezunahme eines tropenwärts vordringenden Meeresstromes durch — infolge tieferer Anfangstemperatur — gesteigerte Nebelbildung im Winterhalbjahr erlitte. Man wird diese Verzögerung, wenn man sie zu 1° annimmt, wohl nicht zu hoch bewerten, zumal ja hier ein Wechselspiel der Vorgänge platzgreift, das innerhalb gewisser Grenzen als gegenseitige Steigerung von Ursache und Wirkung erscheint, die rechnerisch in der Versehung einer von der Dauer des Vorganges abhängigen Variablen mit einem Potenzexponenten $e > 1$ zum Ausdruck käme.

Bei in Ermanglung zweckentsprechender Bemessungsgrundlagen teilweise wohl willkürlich vorgenommener Schätzung findet man demnach, daß die Erwärmung des rückläufigen Astes eines subtropischen Stromkreislaufes vom 45. bis zum 20. Parallel sich um $2 \cdot 0 + 0 \cdot 9 + 1 \cdot 0 = 3 \cdot 9$ oder rund 4° verlangsamen könnte.

Die am Ursprunge des Benguelastromes in 45° und an der Westküste Afrikas in 20° aus dem Seewarte-Atlas abzulesenden Wassertemperaturen sind:

φ	Februar	Mai	August	November
45	10·0	8·6	6·3	6·8
20	18·4	15·3	12·2	17·6

Als Jahresmittel erhält man hieraus die Werte 7·9 und 15·9, die man sogleich auf 8 und 16 abrunden kann. Für die Luftwärme lassen sich die entsprechenden Werte weniger gut ablesen, da die Luftisothermen nur von 5 zu 5° gezogen

sind. Man findet etwa 8·5 und 18·5, während sich aus dem Atlas von v. Hann die viel tieferen Werte 7·0 und 17·0 ergeben.

Die angenommene Verlangsamung des Temperaturanstieges würde so einer Verminderung seiner Geschwindigkeit auf die Hälfte gleichkommen. Die Temperatur der sich an die Zustände der Umgebung rascher anschmiegenden Luft nimmt auf demselben Wege im Verhältnisse 5:4 rascher zu. Sie würde von einer Verzögerung im Anstiege wohl auch in umgekehrtem Maße weniger betroffen und bliebe dann um rund 3° zurück. Man hätte dann — von der für den 45. Parallel gefundenen vertieften Lufttemperatur ausgehend — als erniedrigte Luftwärme an der Küste am 20. Parallel: 3+(18·5—8°5) 3 = 10·0. Es ergibt sich sonach, daß bei einer größtmöglichen negativen thermischen Anomalie im südatlantischen Gebiete an der Westküste Südafrikas am 20. Parallel keine höhere als die höchste jetzt von Gletschereis überdauerte mittlere Luftwärme herrschen würde. Da am genannten Parallel wegen der geringen Variation der Sonnenstrahlung die jährliche Wärmeschwankung nur mehr klein sein kann, würde bei einer mittleren Jahreswärme von 10° daselbst das höchste Monatsmittel der Luftwärme jedenfalls noch unter 14°, das ist unter jener Mittsommerwärme bleiben, welche jetzt als oberer Grenzwert für die Lebensfähigkeit von Gletschereis gilt. Da die hydrometeorischen Bedingungen für eine Gletscherbildung am 20. Parallel nicht minder günstig als in mittleren Breiten wären, erscheint somit die Möglichkeit einer Vergletscherung im äußeren Tropengürtel mit bis zum Meere vorstoßenden Eiszungen dargetan.

Ihr Auftreten bände sich an die Passatluvseite eines Inselgebirges, das sich mit großen Teilen über jene Höhe erhöbe, von welcher an bei der vorgenannten Basistemperatur der reichlichst zugeführte Wasserdampf sich als Schnee niederschlüge. Diese Temperatur stellt, obschon sie aus mittleren Schätzungen hervorging, doch noch in zweifacher Hinsicht einen Höchstwert dar. Sie wurde durch Summierung einer Reihe kleiner Abstriche an den thermischen Wirkungen ver-

schiedener Klimabildner erzielt. Diese wirken aber nicht unabhängig voneinander, sondern in einem Wechselspiele, sich gegenseitig hemmend oder steigernd. Im hier betrachteten Falle mag es sein, daß der letztere Vorgang überwiegt und bei der Mindererwärmung das Gesamtergebnis größer als die Summe der Einzelwirkungen ist. Dann wirkt eine Vergletscherung, einmal erzeugt, als Quelle von Kraft für ihr eigenes Wachstum und ihren Fortbestand. Weite Firnflächen kühlen die über sie streichende Luft ab und reicht eine Vergletscherung bis zum Meere hinab, wird auch dieses durch das Schmelzen abgestoßener Eisblöcke kälter.

Man darf so sagen, daß das erzielte ziffermäßige Schlußergebnis nicht bloß einen Temperaturabstieg bis knapp zur oberen Grenze der Daseinsmöglichkeit von Gletschereis, sondern auch eine Unterschreitung dieser Grenze bedeutet.

Sehr fördernd griffe auf die Abkühlung am südlichen Tropensaume auch der Bestand tief vergletscherten Landes in den südlichsten Subtropen ein, eine Sachlage, die für die Bildungszeit der Lubilache-Formation im Falle ihrer Gleichalterigkeit mit den Dwykakonglomeraten erreicht gewesen wäre. Es ist aber die Wirkung einer solchen Kältequelle im erhaltenen Temperaturwerte schon insofern inbegriffen, als sich die geschätzte Verhältniszahl des von Eisbergen bedeckten Areals zur Meeresfläche für die niedrigeren Breiten wohl nur unter der Annahme begründen läßt, daß sich den Eisbergen subantarktischer Herkunft noch solche aus dem näheren Süden hinzugesellen.

Außer einer tiefen Temperatur des aus den mittleren Breiten absteigenden Stromes wurde eine große Stärke der gedachten Passattrift angenommen. In manchen Teilen des Weltmeeres ist die Passattrift zwischen 20 und 15° S wohl noch schwach, im Indischen Ozean, der hier zunächst in Betracht kommt, erreicht sie aber schon in diesem Gürtel größere Kraft. Wenn die für den atlantischen Teil der Subantarktis erwogene starke Erkaltung auf das östliche Nachbargebiet übergriffe, gewänne der SO-Passat im südindischen Ozean aber noch größere Stärke. Jedenfalls wäre unter Mithilfe besonderer Küstengestaltungen schon in der Zone

zwischen 20 und 15° eine starke Entwicklung des Südäquatorialstromes möglich.

Daß auf der Ostseite des südindischen Ozeans, wo der absteigende kalte Strom in niedrigen Breiten auf eine warme Strömung trifft, keine starken Kondensationen erfolgen, im Gegenteil sogar das Phänomen des kalten Küstenwassers unterdrückt erscheint, ist nicht als ein Beweis gegen die oben vorgebrachte Anschauung zu werten. Der westaustralische Strom ist weniger kalt und weniger stark, der im Winter aus der Timorsee zutretende Strom nur schwach und der Zusammentritt beider erscheint auf eine längere Strecke verteilt, so daß dort ein Wärmeausgleich stattfinden kann.

Mit dem Gewinne des Ergebnisses, daß in der äußeren Tropenzone die Luftmitteltemperatur am Meeresspiegel noch auf 10° sinken könnte, fällt auch die eingangs erwähnte Einwendung Philippi's gegen bis zur Küste vorstoßende tropische Vereisungen hinweg. Betreffs des als Schnee- und Eisfresser von diesem Südpolarforscher so gefürchteten Regens ist die Annahme statthaft, daß er sein Zerstörungswerk nicht mit größerem Erfolge vollbrächte als jetzt am Foxgletscher in Neuseeland, wo die Regenwirkung nicht ausreicht, ein Hinabkriechen der Eiszunge bis in Meeresnähe zu hindern.

Zonale Grenzen der Vergletscherung.

Das Hinabgehen der Luftwärme am 20. Parallel um einige Grade unter den gefundenen Wert würde einem Weiterrücken der Vergletscherung gegen den Gleicher hin die Wege bahnen. Einem Vordringen bis zur Küste reichender Gletscher über den 17. Parallel hinaus böte aber wohl der kraftvolle Äquatorialstrom Halt, der da in thermischer Hinsicht nun übermächtigen Einfluß gewänne. Es müßte sich bald nordwärts von der Berührungslinie der Passattrift mit dem von Süden kommenden Kaltstrome ein schneller Anstieg der Oberflächentemperaturen einstellen, wie er jetzt am Zusammentritte des Golf und Labrador zu sehen ist. Dem würde eine rasche Hebung der Schnee- und Gletschergrenze folgen, so daß letztere in 10° Breite etwa bis zu 1000 *m* Höhe zurückwiche.

Woeikof hat eine bis zum Meere reichende Gletscherbildung am Äquator als physikalisch möglich hingestellt.[1] Klimatologisch läßt sich eine solche im Rahmen der hier entwickelten Anschauungen nicht begründen. Ganz abzulehnen wäre es, daß von einem unterkühlten Meeresstrome getragene kalte Luft quer über den äquatorialen Gürtel hinwegsetzte. Es schlösse sich so auch die Annahme aus, daß eine Vereisung Togos das letzte nördliche Ausklingen einer weitausgedehnten südhemisphärischen Vergletscherung sein könnte. In diesem Sinne sind die Konglomerate Togos mit den Blockschichten des südlichen Kongobeckens nicht in Zusammenhang zu bringen.

Südwärts vom 20. Parallel würde die im vorigen erwogene Vergletscherung bald abflauen. Die von Philippi gegenüber Koken betonte Gletscherfeindlichkeit der Roßbreiten sei nicht unterschätzt. Der Sinn der vorigen Ausführungen war ja nur der, daß Luftkälte, wenn sie mit großer Macht den Durchbruch durch den trockenen Erdgürtel unternähme, sich trotz erlittener Schwächung doch noch in genügender Stärke in die Tropen hinüberretten könnte, um dort eine Gletscherbildung einzuleiten, die dann sich selbst zur Kraftquelle für die Weiterentwicklung würde. Von Süden her könnten bei großer negativer Wärmeanomalie in mittleren Breiten die Subtropen im klimatischen Sinne wohl eine Einschnürung erfahren, so daß das Kapland noch ein feuchtes Gletscherklima bekäme. Die Zone zwischen 30 und 20° vermöchte ihre Eigenart als Zehrgebiet von Gletschern aber auch dann nicht zu verleugnen.[2] In ihr würde, auch wenn die Gebiete zwischen 17 und 20° und südwärts vom 30. Parallel bis zum Meere hinab vereist wären, ein Emporsteigen der Schnee- und Gletschergrenzen erfolgen, das etwa am 25. Parallel seinen Höchstwert erreichte. Beim Fehlen von Hochgebirgen schöbe sich eine ganz eisfreie Zone mit kühlem Klima ein. Insoweit die Permoglazialschichten Südafrikas als küstennahe Bildungen erscheinen, könnte man

[1] A. v. Woeikof. Gletscher und Eiszeiten in ihrem Verhältnisse zum Klima. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin 1881, p. 17.

[2] Daß sie dies in Nordindien tut, ist durch die dortige Sachlage bedingt, die im hier betrachteten Falle nicht gegeben wäre.

ein Fortsetzen derselben bis zum Kongobecken klimatologisch nicht begründen. Dagegen ließe sich ein Auftreten von Moränen, die nicht in Küstennähe zur Ablagerung kamen — kontinentale Fazies der Dwyka-Schichten — sowohl hier wie im Gebiete nordwärts vom 17. Parallel durch Senkungen erklären.

Palaeogeographische Beziehungen.

Aus dem vorigen erhellt, daß es nicht wohlbegründet ist, mit Eckardt und Philippi das Problem einer Gebirgsvergletscherung in den Tropen mit Hinweis auf die Atakamawüste von vornherein als erörterungsunfähig zu bezeichnen. Die geographische Betrachtungsweise in der Palaeoklimatologie erschöpft sich nicht darin, daß man die äußersten jetzt in einer bestimmten Breite vorkommenden Temperaturen auf einen anderen Meridian überträgt oder — soweit angängig — als mittleren thermischen Zustand in der betreffenden Breite annimmt. Aus dem eben genannten Borne palaeoklimatischer Erkenntnis läßt sich tiefer schöpfen. Vor Jahren konnte ich dies betreffs der Frage der milden arktischen Klimate zeigen. Während Semper[1] annahm, daß die Wärmewirkung mehrerer in das arktische Becken einströmender lauer Triften bestenfalls darin bestünde, daß die jetzt dort im Meridian der Westküste Spitzbergens herrschende positive Anomalie sich über den ganzen Umfang des polaren Beckens breitete, ließen von mir durchgeführte einwandfreie Rechnungen erkennen, daß die thermische Wirkung einer in das arktische Becken eintretenden Trift beim Miteintritte einer zweiten größer wäre als sie ohne dieselbe ist.[2]

Als Gegenstück zu dieser Feststellung erscheint das hier auf Grund zulässiger Erwägungen gewonnene Ergebnis, daß die größte jetzt an tropischen Küsten sich einstellende negative Temperaturanomalie noch einer starken Steigerung fähig wäre. Die Aussicht, den vorerwähnten köstlichen Born palaeoklimatischer Erkenntnis als Gesundbrunnen gegen die Fieber-

---

[1] M. Semper, Das palaeothermale Problem. Zeitschr. der Deutschen Geol. Gesellsch. 1896.

[2] F. v. Kerner, Klimatogenetische Betrachtungen zu W. D. Matthews Hypothetical outlines of the continents in tertiary times.

phantasien der von Krustendrehkrankheit und Polschubseuche schwer Befallenen mit gutem Heilerfolge zu verwerten, scheitert aber leider an der Unzulänglichkeit der palaeogeographischen Erkenntnisse und Erkenntnismöglichkeiten.

Betreffs der Morphologie des südatlantischen Gebietes zu Beginn der Dyaszeit verhält es sich wohl so, daß da nicht bloß die beiden Grenzfälle: eine Landverbindung Afrikas mit Südamerika in breiter Front und ein gegenüber dem heutigen nur unbedeutend eingeengter Ozean als zu erwägende Gestaltungen in Betracht kommen. Mag die Annahme einer völligen Trockenlegung des Gebietes allzu kühn ausgreifen, so ist doch auch wieder die Beschränkung auf zwei durch das Fehlen von marinen permischen Schichten an den südatlantischen Küsten zur Pflicht gemachte Zuwachsstreifen von Land wohl eine zu weit gehende Anlehnung an das jetzige Kartenbild. Die Nordatlantis und die Lemuria zählen zu den bestgesicherten Ergebnissen der palaeogeographischen Forschung; sie können aber nicht mehr unter den Begriff bloßer randlicher Emersionen an den großen Festlandssockeln fallen; in aller Schärfe ist so die Lehre von der Sockelpersistenz — mag sie auch als gutes Gegengewicht gegen palaeogeographische Verirrungen erscheinen — nicht aufrecht zu erhalten. Die Zeichnung der erwähnten Pflichtstreifen von Land soll denn wohl auch gar nicht die Annahme eines dem heutigen schon ganz ähnlich gestalteten Ozeans bedeuten und nur zum Ausdruck bringen, daß sich für irgendeine andere Formgebung gar kein Anhaltspunkt finden läßt; und man muß sagen, daß jene Zeichnung dann die noch am meisten wissenschaftliche Art ist, sich aus der Klemme zu helfen.

Man kann es so als einen möglichen Fall betrachten, daß das südatlantische Gebiet zur Dyaszeit eine zwischen den erwähnten Grenzfällen gelegene Gestaltung hatte, daß sich von den Rümpfen Afrikas und Südamerikas irgendwelche Landzungen vorstreckten, die etwa in Inselreihen eine Fortsetzung fanden. Andrerseits erschiene auch das Fehlen von marinem Perm an den Küsten dieser Festlandsrümpfe — angesichts der Möglichkeit erfolgter Denudation — noch nicht als sicherer Beweis gegen randliche Ingressionen. Von welcher

Lage, Form und Größe solche Landvorsprünge, Eilande und Buchten etwa waren, entzieht sich aber jedweder Erkenntnismöglichkeit. Es tritt hier der Fall ein, daß Wissenschaft und bloßes Spiel mit einer wissenschaftlichen Frage hart aneinanderstoßen, doch so, daß eine Grenzziehung gewahrt bleibt. Die Annahme eines südatlantischen Gebietes mit reicher horizontaler Gliederung zur Dyaszeit ist statthaft; jedes Nachdenken über etwaige Formverhältnisse wäre ein müßiges Spiel.

Peinlich sieht sich durch solchen Sachverhalt die Palaeoklimatologie berührt. Sie kann nur auf Grund von Annahmen über die Land- und Meerverteilung Schlüsse ziehen. Fällt jede Möglichkeit, diese Verteilung zu ergründen, weg, so bleibt auch jede Schlußfolgerung über die klimatischen Verhältnisse verwehrt. Aus dem vorigen ergibt sich, daß es ganz besonderer geographischer Gestaltungen bedürfte, um die klimatischen Vorbedingungen für eine größere Gletscherbildung in der Tropenzone zu schaffen. Entzieht es sich ganz der Erkenntnis, ob zur Palaeodyaszeit im südatlantischen Gebiete die Küstenlinien einen solchen Verlauf nahmen, wie er das Vordringen eines starken kalten Stromes bis in niedrige Breiten und sein Zusammenstoßen dortselbst mit einer mächtigen Äquatorialströmung bedingte, so läßt sich auch das Vorkommen von als Grundmoränen aufzufassenden Blockschichten in Westafrika nicht als natürlicher Folgezustand des Erdbildes jener Zeitperiode erweisen. Man kann dann nur dahin gelangen, für den Fall, daß die der Gletscherbildung günstigsten geographischen Verhältnisse gegeben sein konnten, eine Gebirgsvergletscherung Westafrikas zur Palaeodyaszeit (bei dem jetzigen Solarklima) als möglich anzuerkennen.

Th. Arldt hat sein Referat[1] über meine den klimatischen Verhältnissen der Arktis zur Tertiärzeit gewidmeten geographisch-analytischen Betrachtung mit dem Satze geschlossen: »Solchen Untersuchungen kommt aber noch ein anderer Wert zu: sie sind ein Prüfstein, der gestattet, unter den verschiedenen geologisch denkbaren palaeogeographischen Rekonstruktionen die auszuwählen, die die Klimaverteilung der betreffenden

[1] Naturwissenschaftl. Rundschau, XXVI. Jahrg. Nr. 18, Mai 1911, p. 228.

Periode am besten erklärt, wie sie in der Entwicklung der Floren, in den an der Verteilung der Meeresfaunen erkennbaren Strömungen des Meeres und der petrographischen Ausbildung des Bodens sich erkennen läßt.« Eine sich mit dieser deckende Anschauung hat mir gegenüber einmal Kossmat gesprächsweise vertreten.

Im hier vorliegenden Falle würde es sich um das Erkanntwerden eines Klimas aus der Beschaffenheit des Bodens handeln. Wollte man da nun auf Grund des Vorkommens moränenartiger Gebilde im südlichen Kongobecken jene palaeogeographische Rekonstruktion als die wahrscheinlichste erwählen, welche für jenen Landstrich eine Vergletscherung nach sich zöge, so wäre dies gewiß eine gar großzügige und weitgehende Anwendung des eben mitgeteilten Standpunktes. Ich möchte aber sehr bezweifeln, ob eine solche wohl im Sinne der genannten beiden Palaeogeographen läge, zumal sie mit Außerachtlassung der von Arldt erhobenen, übrigens selbstverständlichen Forderung geschähe, die Auswahl nur zwischen den »geologisch denkbaren« Rekonstruktionen zu treffen. Die geographische Hauptbedingung für ein Auftreten von Gletschern in der Kongogegend, der Zusammenfluß eines im Vergleich zum heutigen stark abgekühlten Küstenstromes mit einer kräftigen Südostpassattrift wäre ja fast gleichbedeutend mit einer Überflutung Zentralafrikas; und eine solche kann für die Palaeodyas nicht erwogen werden, wenn auch der nächstliegende positive Nachweis einer Emersion dieses Gebietes, das Vorkommen von Schichten mit *Glossopteris* im tropischen Ostafrika sich auf eine der fraglichen Vergletscherungsperiode nachfolgende Zeit bezieht. Ich möchte darum davon absehen, die betreffende Rekonstruktion zu entwerfen. In ihren Hauptzügen läßt sie sich aus dem eingangs Gesagten leicht ableiten. Bemerkt sei noch, daß bei der heutigen Lage der atlantischen Ostküste südwärts von 20° S die erwogene Erkaltung des ihr folgenden Meeresstromes nur eine Vereisung von westlich von ihr aufragenden insularen Hochgebirgen brächte. Die glazialen Blockschichten im Innern Südafrikas setzten zu ihrer Erklärung eine östlicher gelegene Zugstraße des kalten Meerwassers voraus.

Die Annahme des Überwanderns von Sauriern aus Südamerika nach Afrika auf einem durch räumliche und zeitliche[1] Aneinanderreihung einzelner Landbrückenpfeiler zustande gekommenen Verbindungswege schlösse sich beim Bestande einer Gebirgsvergletscherung am Kongo noch nicht aus, da eine solche keineswegs für das gesamte südatlantische Gebiet so ungünstige klimatische Verhältnisse nach sich ziehen müßte, daß dort alles tierische und pflanzliche Leben erstürbe. Für die Roßbreiten wäre ja ein zwar kühles, aber gletscherfeindlich gebliebenes Steppenklima anzunehmen. Dagegen bliebe eine gleich der heutigen tief unter Firn und Eis begrabene Antarktis die unerläßliche Voraussetzung für das Auftreten eines Gletscherklimas innerhalb der südlichen Tropen. Ein eisfreier Südpolarkontinent, der durch Verbindungen mit Afrika und Südamerika zu Wanderungen von Tieren und Pflanzen aus der alten in die neue Welt und umgekehrt Gelegenheit geschaffen hätte, läßt sich mit einem gleichzeitig vergletscherten Südafrika absolut nicht zusammenreimen.

So mag es auch nach Aufzeigung der Möglichkeit einer Vergletscherung in den Tropen fraglich scheinen, ob die dyadische Eiszeit ohne größere Änderungen des Solarklimas schon ihre Erklärung fände, vorausgesetzt, daß die geologischen Erfahrungen ausreichen würden, die Vorbedingung für eine solche Erklärung zu erfüllen: eine in ihren Hauptzügen richtige Erkenntnis des gesamten damaligen Erdbildes. Wäre eine solche einmal gewonnen, würde aber die hier versuchte Feststellung des Ausmaßes, in welchem sich bei dem heutigen Solarklima in den Tropen Gletscher bilden könnten, die Grundlage für die weitere Forschung sein.

[1] Siehe das Zitat nach C. Diener auf p. 521.